

超精密平面研磨加工参数对精度的影响<sup>\*</sup>

Influence of Ultra-precision Plane Lapping Parameter on Accuracy

张 翊 郭隐彪 庄司克雄

( 厦门大学物理与机电工程学院 日本东北大学)

**摘 要:**通过分析超精密平面研磨加工中放射线结构和螺线结构研磨轮的运动数学模型可得出如下结论:在通常加工条件下,放射线结构研磨轮受加工动压的影响小于螺线结构研磨轮。文中通过对两种结构研磨轮不同加工参数的研磨加工实验表明:采用放射线结构研磨轮可以提高工件的形状精度及减小表面粗糙度值。

**关键词:**超精密平面研磨 微粒金刚石研磨轮 精度 粗糙度 加工参数

## 1 绪言

对于以单晶硅为代表的半导体基板、工业陶瓷及光学玻璃等硬、脆材料的高精度加工,现在一般采用游离磨粒研磨及抛光法。但是,这些加工方法在得到高精度镜面的同时也带来了加工效率低和环境污染等诸多问题。为了解决这些问题,现在国外厂家逐渐淘汰原来的游离磨粒研磨及抛光工艺,开始引进微粒金刚石砂轮的磨削和磨粒固定的超精密平面研磨工艺<sup>[1]</sup>。

平面研磨由于研磨轮和工件面接触,磨粒的有效切削数较多,可以得到高的表面精度及加工效率。但是,由于冷却液对加工点的供应困难,砂轮容易形成堵塞;磨粒的切削深度小而切削长度增加,引起磨粒切削刃磨损;冷却液形成的动压分布及其浮力的作用也影响研磨加工的质量<sup>[2,3]</sup>。

为了改善冷却液工作状态,减小加工动压的影响,现在研磨轮多数采用了开槽式结构设计<sup>[4]</sup>。但是,对于研磨轮表面结构和研磨加工精度、粗糙度之间关系的研究还没有一个定性的研究结论。本文主要研究超精密平面研磨加工中,微粒金刚石研磨轮的不同沟槽结构及加工速度变化对加工面精度的影响。

## 2 加工轨迹与精度

平面研磨主要是靠研磨轮和工件之间的相对运动,加工压力来实现加工过程。图1所示为研磨轮和

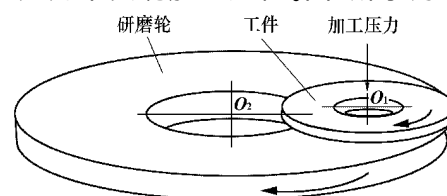


图1 研磨轮和工件运动关系

的工艺决策的环境适应性得到了极大的改善;由于在决策前已经将待加工的特征组合起来,工艺决策时仅仅将这些待加工的组合特征进行合理排序,因此工艺决策的自动化变得更加可能;特征组合时应用加工方法作为约束、优化条件,在工艺决策时不涉及这方面问题,从而使工艺决策简化。

## 参 考 文 献

- 1 王细洋,万在红. CAPP的关键问题及其对策. 制造业自动化, 2000, 22(2)
- 2 肖伟跃. CAPP中工艺规程主干生成的约束匹配算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001(1)

- 3 肖伟跃. CAPP系统中工序工步排序研究的现状与发展. 计算机辅助设计与制造, 1999(3)
- 4 刘丹等. CAPP开发工具工艺决策建模的研究. 清华大学学报(自然科学版), 1998, 38(11)
- 5 S. V. BHASKARA REDDY, et al. Operation Sequencing in CAPP Using Genetic Algorithms. INT. J. PROD. RES. 1999, 37(5)
- 6 董家骥. 计算机辅助工艺过程设计系统智能开发工具. 北京:国防工业出版社, 1996.

第一作者:张铁山,南京理工大学机械工程学院,  
邮编:210094,电话:(025) 4315425(O)

(编辑 周富荣)

(收修改稿日期:2002-04-30)

\* 福建省青年科技创新项目(2001J015)

工件运动原理。由于制作简单,现有的研磨轮大部分采用螺旋线沟槽结构,用该结构研磨轮加工:其加工效率和表面粗糙度可以达到加工要求,但是存在工件中心突起现象,并经常出现脆性化破碎区。

图 2a、b 分别为放射线研磨轮和螺线研磨轮的加工轨迹示意图。从图中研磨轮和工件的相对运动关系可得出:螺线研磨轮螺线长度方向平行于研磨轮在工件上的切削轨迹,加工中脱落的磨粒和切屑不易从沟槽中排出,因此工件表面发生局部破碎现象。放射线研磨轮的放射线长度方向垂直于砂轮在工件上的切削轨迹,脱落的磨粒和切屑很快被排出,工件表面无明显的破碎现象。

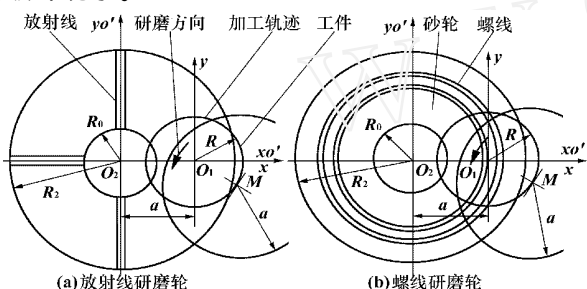


图 2 工件表面加工轨迹

以下表中的加工条件,使用 SD3000B 放射线研磨轮和螺线研磨轮对 5 英寸硅基板进行研磨加工,从研磨加工后工件表面的显微照片可以看出:使用放射线研磨轮加工后得到具有均匀切痕的工件表面;使用螺线研磨轮研磨的硅基板表面存在明显的破碎区。

### 3 加工动压与精度

由于加工时砂轮与工件接触区浸在冷却液中,同时加工速度为匀速且不大,根据流态判断法则

$$Re = \frac{vd}{\mu} \quad (1)$$

式中  $v$  ——平均速度  
 $d$  ——缝隙直径  
 $\mu$  ——运动粘度

由式(1)计算得出:研磨加工中雷诺数  $Re < 2320$ , 因此可断定加工中冷却液在砂轮和工件间是属于层流状态。

根据流体力学分析,微小的缝隙会产生极大的动压支承。虽然我们设计的工件与研磨轮是平行结构,但由于加工动压的影响,工件与研磨轮的两平面之间不可避免地会存在微小的倾斜角(图 3)。由此可以得出研磨加工中冷却液的研磨动压在放射线研磨轮和螺线研磨轮工作线两端的压力差可以表达为

$$p = \frac{12\mu \left[ \frac{Q - vb}{2} \right]}{b^3} \quad (2)$$

式中  $Q$  ——冷却液等效流量  
 $v$  ——砂轮与工件相对速度  
 $b$  ——(放射线、螺线)线型等效宽度  
 $l$  ——(放射线、螺线)线型等效长度  
 $\mu$  ——冷却液比例系数  
 $h$  ——研磨轮与工件等效间距

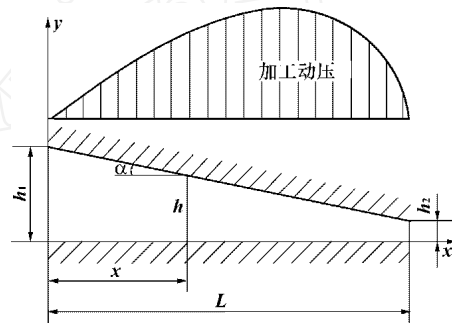


图 3 研磨动压支承

图 4a、b 分别为放射线研磨轮和螺线研磨轮的研磨动压示意图,研磨动压在放射线研磨轮和螺线研磨轮线型上呈现抛物线分布。分析图 4a、b 工件在加工中的受力状况可以得出:使用放射线研磨轮加工时动压在工件上的作用力呈现左右对称分布,研磨动压对加工精度的影响较小;对于螺线研磨轮来说,研磨动压在工件上的作用力呈现不对称分布,合力在工件主轴上的偏转力矩使工件产生中凸现象。同时,从图 2b 可以得出:加工中螺线研磨轮线型等效宽度、等效长度及加工方向的变化较大,由此产生的动压变化也影响工件加工表面质量。

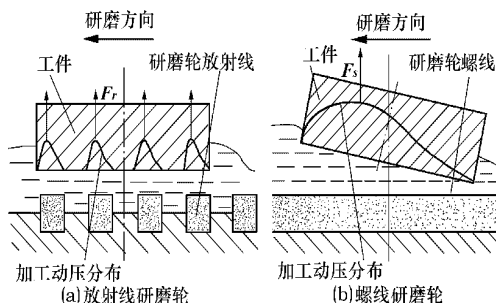


图 4 研磨动压对加工精度的影响

### 4 研磨实验及条件

为了取得两种砂轮的 actual 加工性能参数,使用 SD3000B 树脂结合剂微颗粒金刚石放射线研磨轮和螺线研磨轮对 3 英寸光学材料  $LiTaO_3$  进行研磨。设定研

磨加工条件如下表所示。研磨轮使用 GC3000A 杯状砂轮进行修形及修整。工件毛坯在研磨加工前经过 # 400 ~ # 1000 号金刚石磨粒进行粗研磨,达到表面粗糙度  $R_{\max} 1.6 \mu\text{m}$ 。

研磨轮基本参数及条件

研磨轮型号	SD3000B
研磨轮内、外直径 (mm)	100、350
研磨轮线型宽度 $w$ (mm)	3
放射线研磨轮使用率 (%)	32
螺线研磨轮使用率 (%)	60
放射线研磨轮条数 $n$	78
螺线研磨轮间距 (mm)	5
研磨轮与工件中心距 $a$ (mm)	110
加工工件材料	3 件 LiTaO <sub>3</sub>
研磨轮速度 $\omega_1$ (r/min)	440、400、360、200
工件速度 $\omega_2$ (r/min)	440、400、360、200
加工压力 $p$ (N)	10
加工时间 $t$ (min)	5
冷却液流量 (L/min)	1.2

图 5 为设定研磨轮和工件加工速度  $\omega_1 = \omega_2 = 200 \text{ r/min}$  和  $400 \text{ r/min}$ ,经过 5min 研磨加工后,测得工件表面的平均误差情况。从图可以得出:速度变化对加工精度的影响较小,放射线研磨轮加工可以得到较高的表面精度。

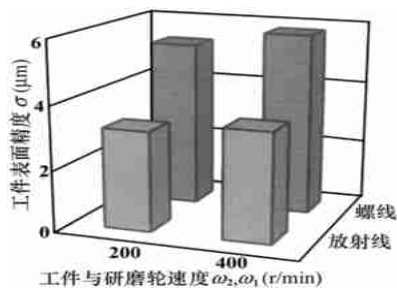


图5 研磨绝对速度对精度影响

图 6 为设定工件速度  $\omega_2 = 400 \text{ r/min}$ ,研磨轮速度  $\omega_1 = 360、400、440 \text{ r/min}$ ,经过研磨后测得工件表面的平均误差情况。从图可以得出:当研磨轮和工件速度  $\omega_1$

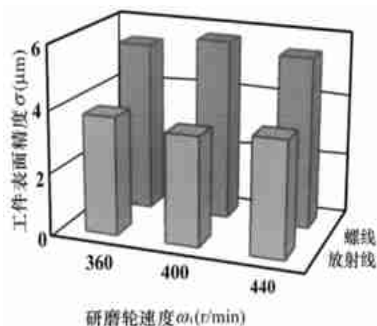


图6 研磨相对速度对精度影响

( $\omega_2 = 400 \text{ r/min}$ )

$\omega_2 = 400 \text{ r/min}$  时,工件表面误差最小,研磨加工相对速度变化对加工精度的影响较小。

图 7 为设定工件速度  $\omega_2 = 400 \text{ r/min}$ ,研磨轮速度  $\omega_1 = 360、400、440 \text{ r/min}$ ,经过研磨后测得工件表面粗糙度 ( $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ ) 情况。从图可以得出:研磨轮速度变化对工件表面粗糙度的影响较小,研磨加工相对速度变化对加工精度的影响较小。使用螺线研磨轮研磨后工件表面的粗糙度  $R_{\max}$  和  $R_{\min}$  变化较大,可以看出其加工表面存在部分破碎区。

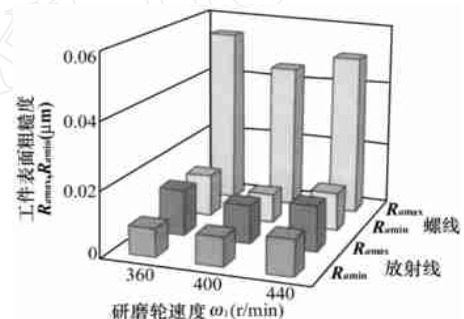


图7 研磨相对速度对粗糙度影响

( $\omega_2 = 400 \text{ r/min}$ )

## 5 结论

本文通过分析研磨加工中放射线研磨轮和螺线研磨轮运动状态,得到研磨加工动压对工件精度的影响条件,分析实验结果表明:

(1) 放射线研磨轮受研磨动压的影响较小,加工中脱落磨粒和切屑容易排出,工件表面形状误差和粗糙度值都较小。

(2) 研磨轮的结构参数对加工精度的影响大于砂轮和工件加工速度变化带来的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Kobayasi A. Super-precision Manufacturing Technology. (Vol. 1, in Japanese). Fujitekuno System Publishing Co. 1995.
- 2 Kuriyagawa T, Guo Yinbiao, et al. Ultra-precision Plane Honing. Proceedings of JSME. Nagoya, Japan, 2000:489 ~ 490
- 3 Kuriyagawa T, Guo Yinbiao, et al. Effect on Accuracy of Machining Speed Change in Ultra-precision Plane Honing. Proceedings of JSPE. Nagoya, Japan, 2000:162
- 4 Wang X, Sjoji K. Plane Honing with the Fine Grit Diamond Wheels. Proceedings of JSPE. Tokyo, Japan, 1994:479 ~ 480

第一作者:张翊,福建厦门大学机电工程系,邮编:361005,电话:(0592) 2187283

(编辑 周富荣)

(收修改稿日期:2002-08-27)

application prospect. The prototype has been put into operation successfully.

**Key words:** Thripod, Mechanism, Kinematics, Dynamics

### **Interference Evasion and Quality Control in Working Curved Surface for Die & Mold by Robot**

YU Miao (Changchun University) (26)

**Abstract:** An automatic lapping system composed of robot and ultrasonic EDM compound lapping machine is presented, local interference possibly happened between tool and job when machining curved surface for dies & molds is studied; control model for surface quality in compound precision machining is established by using interference evasion technology, and correctness of the theory is proven in test.

**Key words:** Robot, Ultrasonic Electric Discharge Machining, Interference Evasion

### **An Elementary Analysis on Structure of Ball Finishing Machine for Power Steel Ball-Cutting**

LIU Guangfu (Anhui Anqing Machine Tool Works), et al. (28)

**Abstract:** By analyzing the working cycle of steel ball finishing machine, the layout form of the machine mainframe, spindle system, hydraulic loading system, large parts of the machine tool are described.

**Key words:** Power Cutting, Ball Finishing Machine, Impact, Forced Vibration, Dynamic Rigidity, Damping

### **Design of Cam Profile in Pitch-variable Machining**

CHEN Junhua (Zhejiang University), et al. (30)

**Abstract:** By analyzing various variable pitches, mathematics expression is established for them, and the key part used in machining pitch-variable helical line—cam, is designed.

**Key words:** Variable Pitch, Helical Line, Unit Angle Movement, Unit Angle Movement Change

### **Analysis on Influence Factors of Extrusion Filament Process of FDM**

ZOU Guolin (Dalian University of Technology), et al. (32)

**Abstract:** The paper presents the process for delivering and extruding filament of FDM (Fused Deposition Modeling) and its involved pulse generator and stepping motor driver. The relationship between filament-delivering rate, screw rotating speed and extrusion flow rate has been expounded, and the measurement values of extrusion flow rate are given by experiment. Finally, the paper analyzes influencing factors of extrusion filament process emphatically, and indicates the significance of reasonable combination of the influence factors for normal extruding filament.

**Key words:** Fused Deposition Modeling, Nozzle, Filament-delivering Rate, Extrusion Flow Rate, Filling Rate, Stepping Motor

### **Study on Feature Combination and Queuing for Process Decision**

ZHANG Tieshan (Nanjing University of Science and Technology), et al. (35)

**Abstract:** To extract the input feature information of a part, form up combined features by combining the features, number the combined feature and decompose the combined feature unit in further step as feature-combination element which can be used as process procedure according to the process rules, process database and the resource database. By queuing the combined feature unit, one can make process decision on the basis of process rules, resource database and process database.

**Key words:** Feature Combination, Queuing, Decision Making

### **Influence of Ultra-precision Plane Lapping Parameter on Accuracy**

ZHANG Yi (Xiamen University), et al. (37)

**Abstract:** By analyzing the kinematics model of the radial line structured and helical structured lapping wheel in ultra-precision plane lapping, the following conclusion is realized: under normal working condition, the influence of working dynamic pressure on radial line structure wheel is less than that on helical structured wheel. With tests on the two differently-structured lapping wheels by different working parameters, it showed that the contour accuracy can be improved and surface roughness can be reduced by using radial line structured wheel.

**Key words:** Ultra-precision Plane Lapping, Fine Grit Diamond Wheel, Accuracy, Roughness, Working Parameters

### **About Fuzzy-Comprehensive-Evaluation-Based Decision of Location Datum**

QIN Baorong (Nanjing University of Aeronautics and Astronautics), et al. (40)

**Abstract:** The selection of location datum is one of the important decision-making activities in CAPP system. Many influencing factors are involved and many practical experiences are needed. The paper proposed the fuzzy-comprehensive-evaluation-based decision method of location datum. The main problems in evaluation course are discussed in detail. An example is used to illustrate the method.

**Key words:** CAPP, Location Datum, Fuzzy Comprehensive Evaluation